Aus der Universitäts-Augenklinik Berlin, Ziegelstraße
Direktor: Prof. Dr. W. Löhlein

Eine neue Standardkurve der Dunkeladaptation

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Medizinischen Doktorgrades

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

HANS-JÜRGEN SCHULTZ

aus Stettin

Tag der Promotion: 25. Juli 1940

Buchdruckerei Franz Linke, Berlin NW 7, Marienstr. 13

M 165

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Kreuz

Referent: Prof. Dr. Müller

Korreferent: Prof. Dr. Löhlein

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Grundsätzliches zur Fragestellung.

Die durch den Krieg bedingten Verhältnisse und die Fortschritte der Wissenschaft haben den Augenarzt bezüglich der Adaptationsprüfung der Augen vor neue Aufgaben gestellt. Eine dieser Aufgaben besteht darin, möglichst geringe Abweichungen des Adaptationsverlaufes von der Norm möglichst genau zu erfassen. Die Erfüllung dieser Forderung ist deshalb von großer Bedeutung, weil der Augenarzt erstens unterscheiden muß, wer wegen Störungen des Dämmerungssehens während der Verdunkelung besonders zu schützen und zu schonen ist und zweitens weil der Augenarzt auch vom Internisten heutzutage herangezogen wird, um mit Hilfe der Prüfung der Dunkeladaptation Einblick in gewisse Stoffwechselvorgänge des Körpers zu verschaffen.

Während in Friedenszeiten der Augenarzt sich nur verhältnismäßig selten veranlaßt gesehen hat, festzustellen, ob die Anpassungsfähigkeit eines Auges gerade noch physiologisch oder schon pathologisch verändert ist, ist dies unter den durch die Verdunkelung hervorgerufenen Verhältnissen sehr häufig der Fall. So wird der Augenarzt von zahlreichen Personen aufgesucht, die behaupten, daß sie bei herabgesetzter Beleuchtung wesentlich schlechter sehen können als normale Personen und deshalb vom Augenarzt eine Bescheinigung verlangen, die ihnen einen Schutz gewährt. Bei dem einen ist es der Wunsch, den Weg vom oder zum Arbeitsplatz nicht im Dunkeln zurücklegen zu müssen, bei dem anderen geht es darum, in der Dunkelheit im Auto gefahren zu werden und wiederum andere wollen von den luftschutzmäßig bedingten Nachtwachen oder einer anderen Tätigkeit befreit sein. Auch der Wunsch, den Hausherrn zu veranlassen, das Treppenhaus besser zu beleuchten oder den Arbeitgeber dafür sorgen zu lassen, die Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz günstiger zu gestalten, bzw. bei der Verteilung von Taschenlampenbatterien bevorzugt behandelt zu werden, führt manchen zum

Augenarzt. Alle diese Fälle beanspruchen eine genaue Untersuchung und gewissenhafte Beurteilung.

Dies ist noch viel mehr der Fall, wenn der Augenarzt veranlaßt wird, festzustellen, ob ein Eisenbahn- oder ein anderes Verkehrsunglück auf eine verminderte Anpassungsfähigkeit des Auges an das Dunkele zurückzuführen ist, oder ob die Wehrdienstfähigkeit durch ein vermindertes Sehvermögen in der Dunkelheit beeinflußt wird.

Der Internist verlangt vom Augenarzt die Feststellung der Dunkelanpassungsfähigkeit des Auges, da man seit den Feststellungen von Edmund und Clemessen weiß, daß schon geringe Störungen des Vitamin-A-Haushaltes an einer Verminderung der Dunkeladaptationsfähigkeit erkannt werden können.

Schon aus diesen kurzen Bemerkungen ist ersichtlich, daß heutzutage ein dringendes Bedürfnis vorliegt, den Adaptationsverlauf der Augen so genau wie nur möglich untersuchen zu können. Ich bin daher gern der Aufforderung, an der Aufstellung einer Standardkurve für den Dunkeladaptationsverlauf mitzuarbeiten, gefolgt. Die spezielle Fragestellung hierzu sei erst nach einer kurzen Erörterung einiger Erkenntnisse über die Aapassungsfähigkeit des Auges an verschiedene Beleuchtungsverhältnisse erörtert, da sie dann erst voll verständlich wird.

Zur Physiologie der Dunkeladaptation.

Mit Hilfe unserer Augen vermögen wir sowohl in dem grellen Lichte des von der Sonne beschienenen Gletschers als auch bei bedecktem Himmel in der Nacht zu sehen. Die Beleuchtungsstärken unterscheiden sich dabei um das Milliardenfache.

Diese Fähigkeit, bei den verschiedensten Beleuchtungsstärken sehen zu können, beruht auf einer ganzen Reihe von zweckmäßigen Einrichtungen des Auges, die im folgenden kurz betrachtet werden sollen. Bei übermäßiger Helligkeit wird der Lichteinfall in die Augen erstens durch das Zukneifen der Lider vermindert, zweitens durch eine Verengung der Pupille herabgesetzt. Mit Hilfe dieser beiden einfachen Einrichtungen kann der in das Auge eindringende Lichtstrom um etwa das Hundertfache gedrosselt werden.

Das Auge besitzt aber noch viel feinere Regulationsmöglichkeiten seiner Lichtemfindlichkeit. In der Netzhaut sind nämlich zwei Arten von Sinneszellen enthalten. Ihrer Form entsprechend bezeichnen wir die einen als Zapfen, die anderen als Stäbchen. Da beide für sich durch zahlreiche Nervenfasern verbunden sind, sprechen wir von dem Zapfen- und dem Stäbchenapparat der Netzhaut (22). Sowohl die Zapfen als auch die Stäbchen enthalten lichtempfindliche Substanzen, deren Zerfall bei Belichtung die zur Lichtwahrnehmung führende Erregung einleitet. Für die Stäbchen ist die photosensible Substanz der Sehpurpur, auch Rhodopsin genannt. Die Zapfen enthalten wahrscheinlich mehrere Arten von lichtempfindlichen Substanzen, die unter dem Namen Jodopsin zusammengefaßt werden. G. v. Studnitz (38, 39, 40), Wald (42) und Chase (6) konnten in den letzten Jahren spektrographisch in Extraktions- und Bleichungsversuchen die Anwesenheit dieser Substanzen in den Zapfen einwandfrei nachweisen. Die photosensible Substanz der Stäbchen ist ja seit den Untersuchungen von Boll im Jahre 1876 wohl bekannt.

Im Dunkeln häuft sich in den Stäbchen der Sehpurpur und in den Zapfen das Jodopsin an. Durch diese Konzentrationserhöhung der lichtempfindlichen Substanzen wird die Lichtempfindlichkeit des Auges erheblich gesteigert. Bei maximaler Konzentration des Sehpurpurs in unseren Stäbchen vermögen wir außerordentlich kleine Lichtmengen wahrzunehmen. Im allgemeinen kann man annehmen, daß nach einem Aufenthalt im völlig verdunkelten Raum von etwa einer Stunde die maximalmögliche Konzentration des Sehpurpurs fast völlig erreicht ist und damit das Auge fast seine höchste Lichtempfindlichkeit erlangt hat. Erhellt man in diesem Zustand allmählich den verdunkelten Raum, so erfolgen die Lichtwahrnehmungen zunächst alle durch den Stäbchenapparat allein, den wir auch als Dämmerungsapparat bezeichnen. Dieses Sehen mit dem Stäbchenapparat ist durch eine sehr große Lichtempfindlichkeit ausgezeichnet, aber wir haben dabei eine sehr schlechte zentrale Sehschärfe und vermögen keine Farben zu unterscheiden. Lichter verschiedener Wellenlängen erwecken nur den Eindruck verschiedener Helligkeit. Es ist dabei sehr bemerkenswert, daß die Kurve der subjektiven Helligkeitswerte des Spektrums, die Absorptionskurve des Sehpurpur und die Bleichwertkurve des Spektrums für den

Sehpurpur fast völlig identisch verlaufen. Man zieht daraus mit Recht den Schluß, daß der Sehpurpur der Vermittler des Dämmerungssehens ist.

Bei der allmählichen Zunahme der Erhellung des Raumes erlangt dann die Belichtungsstärke der Augen einen solchen Grad, daß die in das Auge gelangenden Lichtmengen nun auch genügen, um die in den Zapfen vorhandenen lichtempfindlichen Substanzen in einem solchen Umfange zu zersetzen, daß die Zerfallsprodukte eine Erregung auszulösen vermögen. Unter diesen Bedingungen erfolgt das Sehen eine Zeitlang sowohl durch Vermittlung des Tages- als auch des Dämmerungsapparates. Wird aber die Helligkeit des Raumes noch weiter gesteigert, so sind nun die in das Auge gelangenden Lichtmengen so groß, daß aller in den Stäbchen vorhandener Sehpurpur ausgebleicht ist und die Stäbchen dadurch als Vermittler des Sehens ausgeschaltet werden. Von diesem Moment an ist der Zapfenapparat allein in Funktion. Das Einschalten des Tagesapparates beginnt etwa bei 0,01 Lux und von 100 Lux ab kann der Stäbchenapparat als ausgeschaltet betrachtet werden.

Bei dem Sehen mit dem Tagesapparat haben wir eine gute zentrale Sehschärfe, wir vermögen die Lichter verschiedener Wellenlänge als verschiedene Farben zu unterscheiden und wir können mit ihm auch bei sehr starker Erhellung noch sehen.

Durch Aenderung der Konzentration der lichtempfindlichen Substanzen vermag sowohl der Tages- als auch der Dämmerungsapparat seine Lichtempfindlichkeit um etwa das Tausendfache zu variieren. Mit Hilfe beider Apparate kann daher das Auge seine Lichtempfindlichkeit um das Tausend mal Tausendfache = Millionenfache steigern oder vermindern. Rechnen wir noch den Einfluß der Lidstellung und der Pupillenweite auf den in das Auge eindringenden Lichtstrom hinzu, so sehen wir, daß das Auge seine Lichtempfindlichkeit um das 100-Millionenfache zu verändern vermag. Es ist dies eine außerordentliche Fähigkeit.

Ueber die chemische Natur der den Zapfen eigenen lichtempfindlichen Substanzen wissen wir bis jetzt nichts Näheres. Dagegen wissen wir durch die Untersuchungen der letzten Jahre, daß die Sehpurpurbildung auf das engste mit dem Vitamin-A-Haushalt verbunden ist. So haben

erstens Fridericia und Holm (12) festgestellt, daß Vitamin-A-Mangel in der Nahrung die Sehpurpurbildung im Rattenauge hemmt und zweitens, daß Vitamin A-frei ernährte Ratten nachtblind werden (17). Schon lange hatte am menschlichen Auge die klinische Erfahrung auf die gleichen Zusammenhänge hingewiesen. Andererseits haben, wie schon erwähnt, Edmund und Clemessen (9) gefunden, daß Leberschädigungen nicht nur zu Störungen des Vitamin-A-Haushaltes führen, sondern auch als erstes Symptom eine Verminderung der Dunkeladaptationsfähigkeit bedingen. Vor allem aber haben die Untersuchungen von Wald und seinen Mitarbeitern (43, 44, 45, 46) zur Aufklärung des Zusammenhanges zwischen Vitamin-A-Haushalt und Sehpurpurbildung beigetragen. So wurde sowohl mit photoelektrisch registrierten spektrographischen Messungen als auch mit Hilfe chemischer Methoden nicht nur die Bleichungsprodukte von sorgfältig hergestellten Sehpurpurlösungen, sondern auch die Extrakte von Netzhäuten in verschiedenem Adaptationszustand genauestens untersucht. Aus diesen Untersuchungen, sowie aus den alten von Garten (13) und den neuen von Hecht (15), Chase (7) und Sythgoe (25) wissen wir, daß die Bleichung des Sehpurpurs durch Licht zunächst zu dem sogenannten Sehgelb und dann bei stärkerer Lichteinwirkung zum Sehweiß führt. Das Sehgelb selbst ist wahrscheinlich auch keine einheitliche Substanz, da man bei ihm einen flüchtigen, von Sythgoe (25) als „transent orange" bezeichneten Farbstoff von dem sogenannten Indikatorgelb unterscheiden kann. Bleicht man aber Sehpurpur mit Chloroform oder extrahiert man bis zum Sehgelb ausgebleichte Netzhäute mit Chloroform, so erhält man jeweils ein ganz bestimmtes Carotinoid, das von Wald (44) als Retinin bezeichnet wird. Man nennt daher auch das Sehgelb jetzt Retinin. Aus dem Retinin kann umgekehrt durch Verbindung mit einem Eiweißkörper wieder Sehpurpur entstehen. Das Retinin selbst wird bei weiterer Belichtung in Vitamin A umgewandelt. Froschnetzhäute, die mit dem Pigmentepithel in Verbindung stehen, vermögen aus dem Vitamin A und einem Eiweißkörper Sehpurpur zu regenerieren. Weitere Untersuchungen (45) haben dann gezeigt, daß die Bildung von Sehpurpur aus Retinin und Eiweiß verhältnismäßig schnell verläuft, während die aus dem Vitamin A und Eiweiß längere Zeit beansprucht. Schon

Kühne (23) hat vor langer Zeit für den ersten Vorgang den Namen Anagenesis und für den zweiten Vorgang den Namen Neogenesis gegeben. Kurze und geringe Belichtungen führen nur zur Bildung von Sehgelb aus dem Sehpurpur und der Sehpurpur wird wieder schnell regeneriert. Daher finden wir nach kurzen Belichtungen eine schnelle Wiederkehr der hohen Lichtempfindlichkeit des dunkel adaptierten Auges. Bei länger dauernden Belichtung wird jedoch das Sehgelb zu Sehweiß, d. h. zu Vitamin A abgebaut und es bedarf einer längeren Zeit, bis aus dem Vitamin A wiederum Sehpurpur entsteht. Die hohe Lichtempfindlichkeit kehrt deshalb nach langdauernden oder auch nach intensiven Belichtungen nur langsam wieder zurück. Auf diese Art und Weise konnte Wald die schon früher von H. K. Müller (28) festgestellte Tatsache erklären, daß die Geschwindigkeit der Wiederkehr der Lichtempfindlichkeit bei der allmählichen Verlängerung von kurzen Belichtungen zunächst stetig abnimmt, um dann aber von der Belichtungszeit unabhängig konstant zu bleiben. Es ist dies die Dauer der Belichtung, die gerade genügte, um sämtlichen Sehpurpur in Sehweiß umzuwandeln.

Das für diesen Sehprozeß notwendige Vitamin A wird dem Körper durch die Nahrung zugeführt. Die pflanzlichen Nährstoffe enthalten das α-, β- und γ-Carotin sowie das Cryptoxanthin, und im Fleisch kommt das fertige Vitamin A vor. Die Resorption findet im Magen-Darmtraktus statt, und auf dem Blut- und Lymphwege gelangen die Carotine in die Leber, wo sie in Vitamin A umgewandelt werden und gemeinsam mit dem fertig aufgenommenen Vitamin gespeichert oder je nach den Bedürfnissen des Körpers abgegeben werden (17a). Im Auge wird das Vitamin vornehmlich im Pigmentepithel gespeichert. Dieses enthält z. B. beim Frosch fast 1 mg Vitamin A pro 1 g Trockensubstanz (43). Es ist dies im Vergleich zu den übrigen Geweben ein sehr hoher Wert.

Oxydationsvorgänge scheinen weder bei der Zersetzung des Sehpurpurs noch bei seiner Regeneration direkt beteiligt zu sein. Denn erstens fanden Brunner und Kleinau (3), daß die Sehpurpurbleichung weder durch die Anwesenheit, noch durch die Abwesenheit von Sauerstoff, noch durch starke Reduktionsmittel wie Natriumhyposulfit beeinflußt wird. Als photochemische Reaktion ist es ja

auch unwahrscheinlich, daß eine O_2-Oxydation dabei beteiligt sein soll. Andererseits fanden aber Fischer und Jongbloed (11), daß O_2-Mangel die Lichtempfindlichkeit des Auges beträchtlich herabsetzte und schlossen aus diesem Befund, daß die Resynthese des Sehpurpur aus diesem Befund, daß die Resynthese des Sehpurpurs aus seinem Zerfallsprodukt ein Vorgang sei, an dem der Sauerstoff beteiligt ist. Es handelte sich dabei um einen Irrtum, wie Bunge (4) zeigen konnte. Dieser stellte nämlich fest, daß hochgradig dunkeladaptierte Augen, also Augen mit maximaler Sehpurpurkonzentration, eine Abnahme der Lichtempfindlichkeit bei O_2-Mangel erkennen lassen. Demnach ist also nicht eine durch den O_2-Mangel bedingte Hemmung der Resynthese des Sehpurpurs, sondern die Beeinflussung irgend eines anderen Vorganges für die Abnahme der Lichtempfindlichkeit beim Nachlassen der Sauerstoffspannung verantwortlich zu machen.

Vom eigentlichen Dunkeladaptationsverlauf ist zu sagen, daß unsere grundlegenden Kenntnisse über ihn von Piper (32, 33), Nagel (30, 31), Best (1), Lohmann (26), v. Kries (22), Tschermak (41), Kohlrausch (21) u. a. stammen. Aus den Ergebnissen dieser Forschungen geht hervor, daß beim Uebergang vom Hellen in das Dunkele die Lichtintensitäten, die vom Auge gerade noch wahrgenommen werden können, zunächst schnell und dann langsam absinken. Bei einer starken Vorbelichtung, die etwa hellem Tageslicht entspricht, erkennt man außerdem, daß auch schon am Anfang der Kurve eine gewisse Geschwindigkeitsänderung des Lichtintensitätsabfalles vorhanden ist, d. h. die Schwellenwertkurve fällt zuerst steil ab, um sich nach 4 bis 5 Minuten etwas abzuflachen und dann erneut bis zu etwa der 20. Minute des Dunkelaufenthaltes steil abzusinken, und schließlich von da ab allmählich einem Minimum zuzustreben. Dieser anfängliche Kurvenknick (21), den man wohl besser als Umschlagstelle (28) bezeichnet, da es sich nicht um eine Unstetigkeit im Schwellenwertabfall handelt, ist dadurch bedingt, daß in den ersten Minuten der Tagesapparat allein der Vermittler der Schwellenwertwahrnehmung ist, während nach der Umschlagstelle der Dämmerungsapparat allein in Tätigkeit ist. Man erkennt dies daran, daß bei Benutzung farbiger Prüflichter die Lichtreize farbig über die Schwelle treten. Die Vermittlung der Wahrnehmung von Farben kommt aber nur dem Tagesapparat zu. Nach der Umschlagstelle

erscheinen die Prüflichter im Augenblick der Erreichung der Schwellenreizstärke stets farblos.

Ob die Adaptationskurve so, wie sie immer dargestellt wird, tatsächlich eine verhältnismäßig glatt verlaufende Kurve ist, ist unwahrscheinlich. Denn immer finden wir einen mehr oder weniger deutlich ausgeprägten zackigen Verlauf, und Kyrieleis (24) glaubt, daß es sich dabei um gleichmäßige Schwankungen handelt.

Zur Methodik.

Nach diesen Vorbemerkungen, die in großen Zügen erkennen lassen, welche Umstände bei der Anpassung des Auges an das Dunkele von besonderer Bedeutung sind, sei kurz auf die spezielle Fragestellung etwas eingegangen. Allgemein lautete ja, wie bereits eingangs dieser Arbeit festgestellt, die Frage, eine Methode zu schaffen, mit der es gelingt, möglichst genau den Adaptationsverlauf der Augen zu erfassen, damit die Unterscheidung zwischen der physiologisch noch möglichen und der gerade schon pathologischen Dunkeladaptationsfähigkeit möglich wird.

Zunächst ist die Frage der zu verwendenden Apparatur zu klären. Die in der Jetztzeit im Vordergrund der Betrachtungen stehende Forderung, die Grenze zwischen dem physiologisch möglichen und dem sicher pathologisch veränderten Adaptationsverlauf zu erkennen, zwingt uns, das beste der zur Verfügung stehenden Adaptometer zu benützen. Es scheiden damit alle Apparate aus, die zu dem Zwecke konstruiert wurden, in möglichst kurzer Zeit einen Ueberblick über den ungefähren Adaptationsverlauf zu ermöglichen, und bei denen auf Kosten der Genauigkeit ein möglichst einfacher Untersuchungsgang erreicht werden sollte. Es gilt für die Untersuchung des Lichtsinnes ungefähr das gleiche wie für die Untersuchung des Farbensinnes. So nimmt man auch, wenn es sich darum handelt, festzustellen, ob der Farbensinn gerade noch normal oder schon anormal ist, von der Verwendung der pseudoisochromatischen Tafeln und ähnlichen Hilfsmitteln Abstand und benützt zur Urteilsbildung vor allem das mit dem Anomaloskop gewonnene Ergebnis. Bei der Untersuchung des Lichtsinnes entsprechen dem Anomaloskop alle die Apparate, die eine kontinuierliche Veränderung der Stärke des zur Schwellenwertbestimmung verwendeten Lichtreizes gestatten. Dieser Forderung genügen z. B. die Apparate von Piper (32. 33), Nagel (31) und Engelking-Har-

tung (10) unter der Voraussetzung, daß sie bezüglich ihrer Lichtstärke geeicht sind. Relative Zahlenangaben über die Schwellenwerte im Verlaufe der Dunkelanpassung ermöglichen es nicht, von verschiedenen Untersuchern an verschiedenen Orten ausgeführte Dunkeladaptationsprüfungen miteinander zu vergleichen. Es muß daher die jeweilige Lichtstärke des benützten Adaptometers bekannt sein, damit die Schwellenwerte in absoluten Lichtstärkeneinheiten zum Ausdruck gebracht werden können. (29)

Da eine gleichbleibende Lichtstärke der Adaptometer weitgehend von ihrer Versorgung mit einem konstanten elektrischen Strom abhängig ist, müssen Stromschwankungen möglichst vermieden werden. Als Stromquelle ist deshalb eine Akkumulatorenbatterie zweifellos das beste, aber wegen der hohen Anschaffungskosten wird diese nur an wenigen Orten Verwendung finden. Man muß daher das an das Stadtstromnetz angeschlossene Adaptometer mit einem Regulierwiderstand versehen, der die Stromschwankungen ausgleicht. Sehr geeignet ist dafür der von uns benützte und von der Firma Osram gelieferte Wolframeisenwiderstand, der nur einige Reichsmark kostet. Ist das Adaptometer dann außerdem noch mit einem Voltmeter versehen, so kann man sich jederzeit davon überzeugen, ob das Adaptometer auch tatsächlich mit einem konstanten elektrischen Strom gespeist wird. Wichtig ist weiterhin, daß die Eichung der Lichtstärke von Zeit zu Zeit wiederholt wird, da ja die elektrischen Birnen ihre Leuchtstärke im Laufe der Zeit verändern. Die mit einer Photozelle vorgommene Eichung nimmt nur wenige Minuten in Anspruch.

Neben dem eigentlichen Adaptometer bedürfen auch die anderen Versuchsbedingungen, von denen der Adaptationsverlauf weitgehend abhängig ist, der besonderen Beachtung und der einheitlichen Regelung. So ist vor allem die der Dunkeladaptationsprüfung vorangehende Vorbelichtung der Augen gleichartig zu gestalten. Wie schon erwähnt, sind die Stärke und die Dauer der Vorbelichtung der Augen von maßgebendem Einfluß auf die absolute Höhe der Schwellenwerte und auch auf die Geschwindigkeit der Abnahme der Schwellenwerthöhe während des Dunkelaufenthaltes.

Wenn man also vergleichbare Ergebnisse bei der Dunkeladaptationsprüfung erzielen will, so muß die Art und die Dauer der Vorbelichtung der Augen einheitlich ge-

regelt sein. Schon Stargardt (36) und Drescher und Trendelenburg (8) haben davon abgeraten, das Tageslicht oder eine künstlich beleuchtete ebene Fläche zu benützen, weil das Tageslicht erheblichen Schwankungen in seiner Stärke unterworfen ist und weil mit einer ebenen Fläche immer nur ein Teil der Netzhaut beleuchtet werden kann. Sie haben deshalb mit elektrischem Licht beleuchtet und mit einer weißen Innenwand versehene Halbkugeln zur Vorbelichtung der Augen angegeben. Aber mit Hilfe einer Halbkugel kann auch immer nur ein Teil der Netzhaut beleuchtet werden und sie entsprechen daher nicht der Forderung einer möglichst gleichmäßigen Belichtung der gesamten Netzhaut. Es muß daher eine Vollkugel, die nach dem Prinzip der Ulbricht'schen Kugel, die schon Hertel (16) für sein Kugeladaptometer benützt hat, angewendet werden. Abb. 1 zeigt die in der Berliner Augenklinik benützte Vorbelichtungskugel.

Mit drei in Röhren befindlichen elektrischen Birnen wird die weiße Innenfläche der Hohlkugel gleichmäßig beleuchtet. Durch ein verschieden starkes Hineinschieben der Birnen in die Röhren kann die Helligkeit der Innenfläche geregelt werden. Sie soll auf 3000 Lux eingestellt sein. Durch eine Kinnstütze ist die richtige Lage in der Hohlkugel gesichert. Während der Vorbelichtung erhält der zu Untersuchende die Aufforderung, mit seinen Augen kreisende Blickbewegungen auszuführen, weil auf diese Weise die starke Belichtung der Augen besser ertragen wird und weil dadurch eine gleichmäßigere Belichtung der Netzhaut zu erreichen ist.

Die eingehenden Versuche Müllers (28) haben gezeigt, daß die Vorbelichtung am besten eine Dauer von zehn Minuten hat. Unter diesen Bedingungen ist die Belichtung so stark, daß eine Minute nach Schluß der Vorbelichtung noch der Tagesapparat der Netzhaut der Vermittler der Schwellenreizempfindung ist und erst allmählich der Dämmerungsapparat diese Funktion übernimmt.

Besonderere Beachtung bedarf auch die Pupillenweite, denn dem Pupillenspiel kommt bei der Anpassung des Auges an verschiedene Helligkeiten große Bedeutung zu. Findet man eine Störung der Dunkeladaptation, so kann sie durch nicht genügend auf Lichtreize ansprechende, zu enge oder zu weite Pupillen hervorgerufen sein. Um einen derartigen Einfluß des Pupillenspieles auf den Adaptationsver-

lauf auszuschließen, bemühen wir uns, der Pupille einen möglichst konstanten Durchmesser zu geben. Dadurch erspart man sich Arbeit. Hat man nämlich ohne künstliche Konstanthaltung des Pupillendurchmessers eine Störung der Adaptation gefunden, so muß durch eine zweite Dunkeladaptationsprüfung bei unveränderlicher Pupillen-

Abb. 1. Ulbricht'sche Vorbelichtungskugel

weite nun festgestellt werden, ob die gefundene Funktionsverminderung auf einer in die Aderhaut oder in der Netzhaut sich abspielenden Störung beruht oder allein auf das veränderte Pupillenspiel zurückzuführen ist. Untersucht man dagegen von vornherein die Adaptation mit gleichbleibendem Pupillendurchmesser, so erspart man sich die Mühe einer zweiten Dunkeladaptationsuntersuchung, gleich-

gültig, wie das Ergebnis der Untersuchung ausgefallen ist, wenn man nur vorher das Pupillenspiel beobachtet hat. Aber auch in den Fällen, in denen keine Störung des Pupillenspiels vorliegt, ist es vorteilhaft, bei konstantem Pupillendurchmesser die Adaptationsprüfung vorzunehmen. Dadurch wird nämlich erreicht, daß die Ergebnisse von Fall zu Fall — normale Adaptationsfähigkeit vorausgesetzt — gleichmäßiger ausfallen und somit die Grenze zwischen der normalen Schwankungsbreite und dem pathologischen Verlauf besser zu erkennen ist.

Aus diesen Gründen hat man vorgeschlagen, künstliche Blenden zu benützen, deren Durchmesser kleiner ist als derjenige der in Engstellung befindlichen Pupillen. Eine derartige Blende verhindert aber eine gleichmäßige Belichtung der Netzhaut bei der Vorbelichtung und ist deshalb nicht brauchbar. Man könnte bestenfalls Blenden nach Art der Haftgläser auf das Auge setzen. Dies ist aber aus praktischen Gründen für klinische Untersuchungen nicht möglich. Man muß daher versuchen, mit Miotika oder mit Mydriatika der Pupille einen gleichmäßigen Durchmesser zu geben. Mydriatika sind für diesen Zweck viel besser als Miotika.

Nimmt man nämlich an, daß bei dem einen durch Miotika sich der Pupillendurchmesser auf 2 und bei dem anderen nur auf 3 mm verkleinert, so gelangt bei dem 3 mm großen Pupillendurchmesser $\frac{2^2}{3^2} = 2{,}25$mal soviel Licht in das Auge als bei demjenigen, der einen Pupillendurchmesser von 2 mm hat. Anders ist es, wenn bei Verwendung von Mydriatika der Unterschied der Pupillenweite z. B. 2 und 8 mm beträgt. Unter diesen Umständen gelangt in das Auge mit der weiteren Pupille nur $\frac{8^2}{7^2} = 1{,}3$mal soviel Licht in das Auge als in das mit der engeren Pupille. Aus diesem Grunde ist es das Richtige, zur Erzielung einer Konstanz der Pupillenweite Mydriatika zu verwenden.

Die Pupille ist daher vor Beginn der Dunkeladaptationsprüfung durch dreimaliges Einträufeln von 1proz. Homatropin zu erweitern. Man muß dabei natürlich an die Gefahr für Glaukom disponierter Augen denken und darf den Untersuchten erst aus der Sprechstunde entlassen, wenn durch Miotika die Pupillen wieder verengt sind. Bei

all den Fällen, bei denen es auf eine sehr genaue Beurteilung der Dunkeladaktationsfähigkeit ankommt, wird man einerseits die während der Adaptationsprüfung gemessene Pupillenweite unter dem Gesichtspunkt in Rechnung setzen, daß im Durchschnitt durch das dreimalige Eintropfen der Homatropinlösung sich die Pupille auf 8 mm zu erweitern pflegt. Weiterhin wird man dann auch das unbeeinflußte Pupillenspiel bei Belichtungswechsel berücksichtigen müssen.

Für das Ergebnis der Dunkeladaptationsprüfung ist es trotz Anwendung einer künstlichen, gleichmäßigen Vorbelichtung der Augen nicht belanglos, ob der zu Untersuchende aus dem hellen Sonnenschein oder aus der Dämmerung zur Untersuchung kommt. Derartige Unterschiede müssen ausgeglichen werden, da sie sonst das Ergebnis der Untersuchung entstellen können. Es muß dehalb der zu Untersuchende sich vor dem Beginn der künstlichen Vorbelichtung der Augen eine halbe Stunde im Dunkeln aufhalten.

Von den übrigen Versuchbedingungen ist noch zu erwähnen, daß die Lichtreizfläche zur Bestimmung des Schwellenwertes durch eine Kreisfläche von 10 cm Durchmesser gebildet werden muß, und daß diese Kreisfläche sich in 60 cm Entfernung vor dem Auge zu befinden hat. Unter diesen Bedingungen erscheint die Lichtreizfläche unter einem Winkel von 10 Grad. Die Konstanz des Abstandes von der Lichtreizfläche ist durch Verwendung einer Kinn- und Stirnstütze zu sichern. Mit welchem Adaptometer die Lichtreizfläche erzeugt wird, ist gleichgültig, wenn das Adaptometer nur den eingangs genannten Bedingungen entspricht. Die genannten Ausmaße der Lichtreizfläche sind deshalb zu verlangen, da bis jetzt die meisten Dunkeladaptationsuntersuchungen auf diese Weise ausgeführt worden sind und da sie sich bereits bewährt haben.

Von der Benützung eines Fixierpunktes während der Bestimmung der Dunkeladaptationsfähigkeit ist Abstand zu nehmen. Auch bei Verwendung des Nagelschen Fixierpunktgerätes (31) ist es nämlich nicht möglich, die Helligkeit des Fixierpunktes der während des Dunkelaufenthaltes ständig zunehmenden Lichtempfindlichkeit des Auges so anzupassen, daß er nicht die Beobachtung des Schwellenreizes stört. Durch das gewählte Ausmaß der Lichtreizfläche ist ja dafür Sorge getragen, daß das im Dunkeln be-

stehende Zentralskotom nur einen kleinen Teil der Lichtreizfläche einehmen kann. Es genügt daher, wenn man den zu Untersuchenden auffordert, die Lichtreizfläche zu fixieren. Automatisch wird er dazu die lichtempfindlichste Stelle seiner Netzhaut benützen.

Als Kriterium des Schwellenwertes verwenden wir die sogenannte Verschwindungsschwelle, d. h. wir bezeichnen die Lichtstärke des Adaptometers als Schwellenreiz, bei der ein gegebener Lichtreiz gerade nicht mehr wahrgenommen werden kann. Man könnte natürlich auch die Lichtstärke, die beim ersten Wahrnehmen eines Lichtreizes bei seiner allmählichen Verstärkung gegeben ist, als Schwellenwert bezeichnen. Wir haben uns jedoch für die Verschwindungswelle entschieden, da es ohne Fixierpunkt für den Untersuchenden leichter ist, diese zu erkennen, als die Erscheinungsschwelle.

Zusammengefaßt ergibt sich also folgende Methodik:

Der zu Untersuchende erhält im Abstand von einigen Minuten dreimal einen Tropfen einer 1proz. Homatropinlösung in den Bindehautsack eingeträufelt. Dann hat er sich eine halbe Stunde in der völlig vom Licht abgeschlossenen Dunkelkammer aufzuhalten. Nach diesem Dunkelaufenthalt werden die Augen mit dem Vorbelichtungsapparat, der eine Lichtstärke von 3000 Lux hat. 10 Minuten lang belichtet. Eine Minute nach Schluß der Vorbelichtung beginnt die Prüfung am Adaptometer. Die Beobachtung erfolgt stets monokular. Alle drei Minuten wird eine Schwellenreizbestimmung ausgeführt. Mit der Stoppuhr werden sämtliche Zeiten genau festgelegt. Auf die Art der Protokollführung und der zeichnerischen Wiedergabe der Befunde wird weiter unten noch näher eingegangen werden.

Es erhebt sich nun die Frage, wie man mit dieser Methode den gerade krankhaft veränderten Adaptationsverlauf von dem noch normalen unterscheiden kann. Zu diesem Zweck hat 1932 G. Matthey (27) bei 54 Personen mit voraussichtlich normal funktionierenden Augen unter Einhaltung der geschilderten Methodik den Dunkeladaptationsverlauf festgestellt und mit Hilfe der Mittelwerte der gefundenen Schwellenwerte eine sogenannte Standardkurve der Dunkeladaptation aufgestellt. Gleichzeitig wurde mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung die obere Streu-

ungsgrenze der physiologisch noch möglichen Schwellenwerte berechnet. Diese obere Streuungsgrenze gestattet es, die phisiologisch noch möglichen Schwellenwerte von den sicher pathologischen zu trennen. Die Auswertung der Ergebnisse mit dieser Standardkurve ist außerordentlich einfach. Alle oberhalb der oberen Streuungsgrenze liegenden Schwellenwerte können mit großer Wahrscheinlichkeit als pathologisch angesprochen werden.

Die praktische Anwendung der Matthey'schen Standardkurve an der Berliner Augenklinik hat nun aber gezeigt, daß die bei normalen Augen gefundenen Schwellenwerte häufig etwas höher lagen, als dies den Matthey'schen Befunden nach zu erwarten war. Bei der Bedeutung, die der Standardkurve der Dunkeladaptation zukommt, habe ich daher die Mattey'schen Ergebnisse nachgeprüft.

Ergebnisse der Untersuchungen.

Unter genauer Einhaltung der geschilderten Methodik (Nagel'sches Adaptometer) habe ich den Dunkeladaptationsverlauf bei 25 Personen mit voraussichtlich normalen Augen festgestellt. In fast allen Fällen wurden beide Augen monokular, niemals binokular untersucht. Das Lebensalter der Versuchspersonen lag zwischen 18 und 52 Jahren. Die meisten davon befanden sich im Alter von 20 bis 25 Jahren. Im allgemeinen handelte es ich um emetrope Personen, und die Grenzen der Ametropien lagen zwischen + 3,5 und — 2,5 dptr. Die Sehschärfe war in allen Fällen eine normale.

Aus den bei diesen Untersuchungen gefundenen Ergebnissen wurden die Mittelwerte der in Mikrolux (1 Mikrolux = 1/1 000 000 Lux) ausgedrückten Schwellenwerte berechnet und mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung die obere Streuungsgrenze der physiologisch noch möglichen Werte ermittelt. Als obere Streuungsgrenze wurde gemäß den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung der um den dreifachen Betrag des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung erhöhte Mittelwert bezeichnet. Es wurde dabei so vorgegangen, daß die für die jeweilige Minute gefundenen Schwellenwerte (angegeben in M-Lux) addiert und durch die Anzahl der untersuchten Augen dividiert wurden. Die gefundenen Mittelwerte „M" wurden graphisch so dargestellt, daß auf der Abzisse die Zeit und auf der Ordinate die Schwellenwerte in ihrem logarithmischen Wert mit der Basis 10 aufgetragen wurden. Die Berechnung der oberen Streugrenze

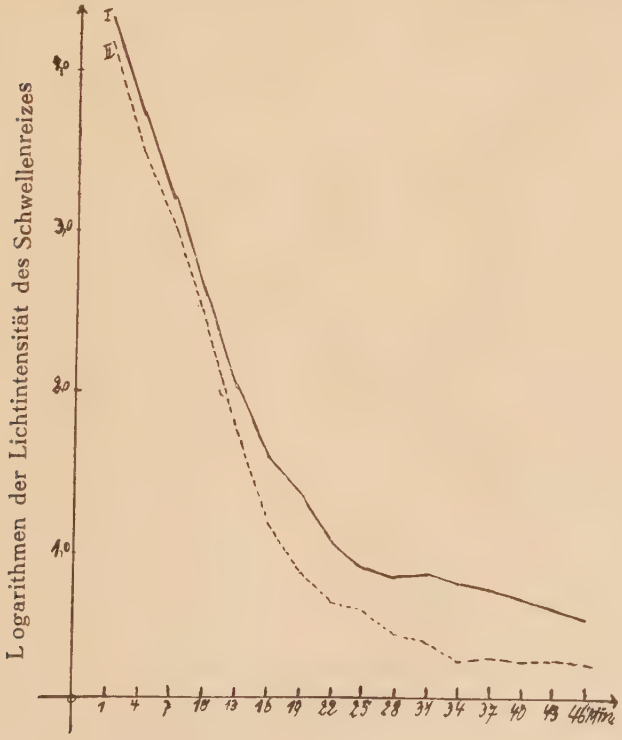
Tabelle I

Zeit in Minuten nach Schluß der Vorbelichtung	Neue Standardkurve				Standardkurve von Matthey				Quotient der Mittelwerte von Schultz u. Matthey
	Mittelwerte in Mikrolux	Obere Streuungsgrenze in Mikrolux	Logarithmen den Mittelwerte	Logarithmen der oberen Streuungsgrenze	Mittelwerte in Mikrolux	Obere Streuungsgrenze in Mikrolux	Logarithmen der Mittelwerte	Logarithmen der oberen Streuungsgrenze	
1	21 500	84 500	4,33	4,93	15 300	58 460	4,18	4,77	1,4
4	5 450	20 800	3,74	4,32	3 180	15 990	3,50	4,20	1,7
7	1 670	5 500	3,22	3,74	1 070	4 510	3,03	3,65	1,7
10	385	1 230	2,59	3,09	268	1 330	2,43	3,12	1,1
13	110	389	2,04	2,59	57	320	1,76	2,51	1,9
16	40	136	1,60	2,13	15	53	1,18	1,72	2,7
19	19	62,5	1,28	1,80	7,5	25	0,88	1,40	2,5
22	10,7	24,2	1,03	1,38	5,0	15	0,70	1,17	2,1
25	8,3	24,8	0,92	1,39	4,5	16	0,65	1,21	1,8
28	7,3	16,3	0,86	1,21	3,3	8,2	0,51	0,92	2,2
31	7,5	18,3	0,88	1,26	2,8	8,4	0,45	0,92	2,7
34	6,8	15,8	0,83	1,20	2,2	6,8	0,34	0,83	3,1
37	6	14,3	0,78	1,15	2,3	6,1	0,36	0,79	2,6
40	5,4	11,4	0,73	1,06	2,2	6,2	0,33	0,79	2,5
43	4,7	10,1	0,67	1,00	2,2	6,1	0,34	0,79	2,1
46	4	8,5	0,60	0,93	2,1	6,1	0,32	0,78	1,9

erfolgte nach der Formel $M + 3\delta$. Der Wert δ wurde nach der Formel $\delta = +\sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n}}$ berechnet, wobei mit „a" die Differenz zwischen dem Mittelwert „M" und den bei den einzelnen Untersuchungen gefundenen Schwellenwerten und mit „n" die Zahl der untersuchten Augen bezeichnet wird. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 eingetragen, die auch gleichzeitig die von Matthey (27) gefundenen Werte enthält. Man erkennt aus dem Vergleich der Schwellenwerte, daß die von mir gefundenen Werte durchschnittlich um das 2fache höher liegen, als die von Matthey (27) festgestellten. Dies geht auch aus Abb. 2 hervor, die die beiden Mittelwertskurven wiedergibt. Beide Kurven zeigen aber einen grundsätzlich sehr ähnlichen Verlauf. Vergrößert man nämlich die von Matthey gefundenen Mittelwerte um das 2,119fache, so

Abb. 2. Vergleich der Standardkurve von Matthey und Schultz (Mittelwerte)

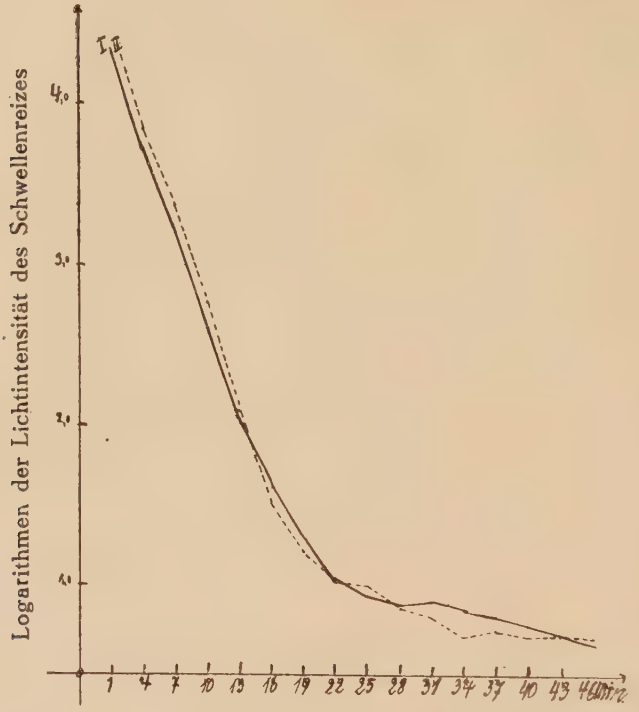
I——— = Standardkurve Schultz II ····· Standardkurve Matthey



Zeit der Dunkeladaptation in Minuten

Abb. 3. Vergleich der Standardkurve Schultz und Matthey. 2,119fach (Mittelwerte)

I ——— = Standardkurve Schultz II ····· = Standardkurve Matthey



Zeit der Dunkeladaptation in Minuten

fallen die beiden Kurven, wie Abb. 3 zeigt, fast völlig zusammen. Nur bis zur 13. Minute besteht noch ein kleiner Unterschied, während sonst die Kurven sich mehrfach überschneiden. Aus diesem Verhalten kann man den Schluß ziehen, daß die in Berlin von mir gefundenen Mittelwerte als einzigen grundsätzlichen Unterschied gegenüber den in Basel von Matthey festgestellten Mittelwerten eine Größendifferenz aufweisen, die etwa das 2fache beträgt.

Dieser Unterschied könnte darauf zurückzuführen sein, daß sowohl in Basel als auch in Berlin bei der Eichung der Adaptometer Fehler unterlaufen sind. Mit den verwendeten Meßmethoden, die an beiden Orten zudem nicht die gleichen waren, ist dies immerhin möglich. Wir glauben aber nicht, daß der gefundene Unterschied auf derartige Meßfehler zurückzuführen ist. H. K. Müller hat nämlich

Tabelle 2

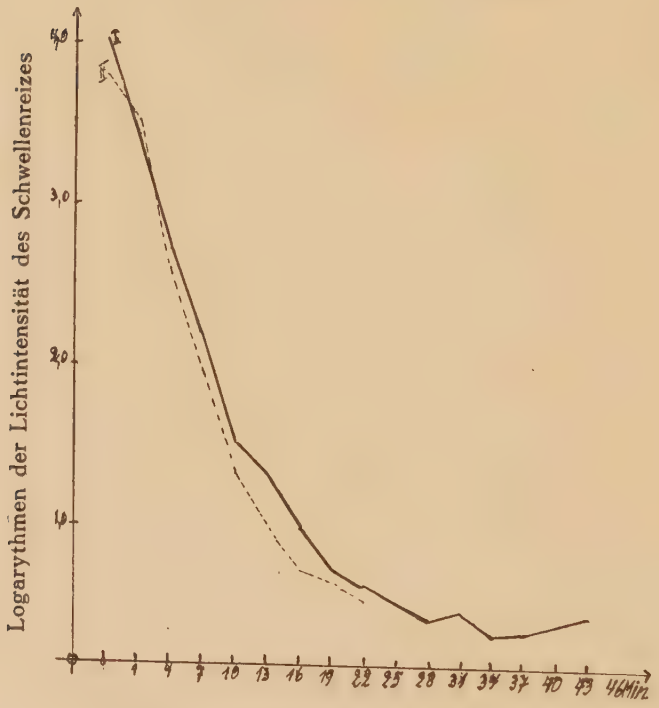
Mittelwerte der Dunkeladaptation von H. K. Müller mit der Baseler und Berliner Apparatur bestimmt.

Zeit in Min. nach Schluß der Vorbelichtung	Berliner Apparatur		Baseler Apparatur		Quotient der Mittelwerte von Berlin u. Basel
	Mittelwerte der Mikrolux	Logarithmen der Mittelwerte	Mittelwerte der Mikrolux	Logarithmen der Mittelwerte	
1	10 833	4,03	8 050	3,91	1,3
2	—	—	5 850	3,77	—
3	—	—	3 960	3,60	—
4	2 716	3,43	3 340	3,52	0,8
5	—	—	2 000	3,30	—
6	—	—	1 030	3,01	—
7	542	2,73	406	2,61	1,3
8	—	—	212	2,33	—
9	—	—	140	2,15	—
10	143	2,16	91,5	1,96	1,6
11	—	—	32,7	1,51	—
12	—	—	27,5	1,44	—
13	33,3	1,52	21,5	1,33	1,5
14	—	—	16,0	1,20	—
15	—	—	10,8	1,03	—
16	21,5	1,33	—	—	—
17	—	—	7,8	0,89	—
19	9,8	0,98	5,3	0,72	1,8
21	—	—	4,1	0,61	—
22	5,4	0,73	—	—	—
23	—	—	4,0	0,60	—
25	4,3	0,63	3,4	0,53	1,3
27	—	—	3,0	0,48	—
28	3,3	0,52	—	—	—
31	2,5	0,40	—	—	—
34	2,9	0,46	—	—	—
37	2,2	0,33	—	—	—
40	2,2	0,33	—	—	—
43	2,4	0,38	—	—	—
46	2,7	0,43	—	—	—

den Dunkeladaptationsverlauf seiner Augen sowohl mit der Apparatur in Basel als auch mit der in Berlin bestimmt. Bei den Baseler Versuchen, die bis zu 27 Minuten ausgedehnt wurden, handelt es sich um den Mittelwert von 10 Versuchen, und bei den Berliner Untersuchungen, die sich über eine 46 Minuten lange Adaptationszeit erstrecken, um den Mittelwert von drei Versuchen. In Tab. 2 sind die dabei er-

Abb. 4. Vergleich der Adaptationskurven von H. K. Müller in Basel und Berlin

I ——— = D.A.-Kurve H. K. Müller Berlin
II ····· = D.A.-Kurve H. K. Müller Basel



Zeit der Dunkeladaptation in Minuten

mittelten Mittelwerte und in Abb. 4 die entsprechenden Dunkeladaptationskurven eingetragen. Man sieht daraus, daß zwischen dem in Basel und dem in Berlin festgestellten Dunkeladaptationsverlauf kein grundsätzlicher Unterschied bezüglich der Höhe der Schwellenwerte besteht. Aus diesem Befund kann man den Schluß ziehen, daß der Unterschied der von Matthey und der von mir gefundenen Standard-

Tabelle 3

Schema für den Adaptationsversuch

Name: A. M. Datum: 14. 11. 39 Versuchsleiter: M.

Pupillenweite: Rechtes Auge 8 mm
Linkes Auge 8 mm

Dauer des Dunkelaufenthaltes: 30 Minuten
Dauer der Helladaptation: 10 Minuten

Lichtstärke des Apparates bei voller Öffnung: 0,4 Lux
Lichtstärke der Ausblendkugel: ca. 3000 Lux

Reizfläche: rund, 10 cm Durchmesser

Abstand: Auge — Apparat = 60 cm

Beginn des Versuches nach Schluß der Helladaption: 10. 10.

Zeit in Min.	Rechtes Auge			Linkes Auge			Oberste Streugrenze für Normale	
	Im Versuch abgel. Werte	Lichtstärke in Mikrolux	lg. J.	Im Versuch abgel. Werte	Lichtstärke in Mikrolux	lg. J.	Werte in Mikrolux	lg. J.
1′	III / 3 000	120 000	5,08	III / 4 000	160 000	5,20	84 500	4,93
4′	II / 6 000	12 000	4,08	II / 6 000	12 000	4,80	20 800	4,32
7′	II / 2 700	5 500	3,74	II / 4 000	8 000	3,90	5 500	3,74
10′	I / 8 000	800	2,90	II / 1 100	2 100	3,32	1 230	3,09
13′	I / 4 200	420	2,62	II / 6 000	600	2,78	389	2,59
16′	I / 3 000	300	2,48	I / 3 800	380	2,58	136	2,13
19′	I / 1 100	105	2,02	I / 2 800	280	2,45	62,5	1,80
22′	I / 900	90	1,95	I / 1 200	120	2,08	24,2	1,38
25′	I / 600	60	1,78	I / 1 200	120	2,08	24,8	1,39
28′	0 / 10 000	50	1,70	I / 1 300	130	2,11	16,3	1,21
31′	0 / 9 000	45	1,65	I / 800	80	1,90	18,3	1,26
34′	0 / 10 000	50	1,70	I / 1 300	130	2,11	15,8	1,20
37′	I / 800	80	1,90	I / 1 300	130	2,11	14,3	1,15
40′	I / 1 100	105	2,02	I / 1 400	140	2,15	11,4	1,06
43′	I / 1 000	100	2,00	I / 1 600	160	2,20	10,1	1,—
46′	I / 800	80	1,90	I / 800	80	1,90	8,5	0,93

III = 3 Milchglasscheiben herausgezogen
II = 2 „ „ „ „

I = 1 Milchglasscheibe herausgezogen
0 = Keine „ „ „ „

kurven nicht auf Unterschiede in der Eichung der Apparatur zurückzuführen sind, sondern durch ein verschiedenes Verhalten der Dunkeladaptation der Baseler und der Berliner Versuchspersonen zu erklären ist. Es ist möglich, daß der unterschiedliche Dunkeladaptationsverlauf auf die verschiedene Art der Ernährung bezogen werden muß. Ein

Abb. 5. Adaptationskurve des 69jhrg. Lokomotivführers A. M.
I ——— = Standardkurve II ····· = ob. Streugrenze
III ._._ = Adaptationskurve A. M.

Einfluß der Kriegsernährung ist aber nicht anzunehmen, da schon 1937 und 1938 die Beobachung gemacht wurde, daß die in Berlin festgestellten Schwellenwerte um etwa das Doppelte höher liegen als die in Basel gefundenen.

Zusammenfassend haben also die Versuche ergeben, daß in dem Verlauf der Dunkeladaptation bei verschiedenen Bevölkerungen Unterschiede bestehen können, die wahr-

scheinlich mit der verschiedenen Art der Ernährung in Zusammenhang stehen. Man wird daher bei der Verwendung von Standardkurven derartige Unterschiede in der Ernährungsart berücksichtigen müssen. Für die deutschen Verhältnisse bestehen wohl keine Bedenken, die neue Standardkurve den Dunkeladaptationsuntersuchungen zugrundezulegen.

Die praktische Anwendung der Standardkurve gestaltet sich sehr einfach. Zur Protokollführung wird an der Berliner Klinik das in Tabelle 3 wiedergegebene Formular benützt. Es hat sich im klinischen Gebrauch sehr bewährt. In das untenstehende Formular sind die Befunde, die bei einem 64 Jahre alten Lokomotivführer, der angeklagt war, ein Eisenbahnunglück mitverschuldet zu haben, eingetragen. Der Vergleich seiner Schwellenwerte mit der oberen Streuungsgrenze zeigt, daß eine einwandfreie Störung der Dunkeladaptation vorliegt. Die Ursache dieser Störung beruhte auf einer Atherosklerose der Netzhaut, die auch noch andere funktionelle Störungen bedingte, deren Nachweis letzten Endes zum Freispruch des Lokomotivführers Anlaß gab. — Für die zeichnerische Wiedergabe der Befunde eignet sich am besten die Verwendung der Logarithmen der in Mikrolux ausgedrückten Schwellenwerte, da sie bei weitem die praktischste ist (29). Das Adaptationsschema von Engelking ist hierfür sehr geeignet. Die graphische Wiedergabe der Befunde hat den Vorteil, daß man sofort einen Ueberblick über das Ergebnis hat. So erkennt man z. B. aus der Abb. 5, die die zeichnerische Darstellung der in Tabelle 3 eingetragenen Werte ist, daß die wesentliche Störung der Dunkeladaption erst nach der 16. Minute des Dunkelaufenthaltes einsetzt.

Vom physiologischen und klinischen Standpunkt aus kommt der Frage der Bedeutung des Melanophorenhormons für die Dunkelanpassungsfähigkeit große Bedeutung zu. Ob das Melanophorenhormon (M. H.), das in den basophilen Zellen der Hypophyse gebildet wird (Roth) (34) und im Menschenblut sowie im Liquor cerebri und im Auge nachgewiesen worden ist (Jores) (19, 20), in den Ablauf der D.A. eingreift, kann bis jetzt nicht mit Sicherheit entschieden werden. Der Angriffspunkt dieses Hormons soll im Auge liegen. Den Ablauf der Reaktion stellt sich Jores (19, 20) dann folgendermaßen vor: Durch den mangelnden Lichtreiz während der D. A. wird vom Auge aus über

den Nervus opticus die Hypophyse beeinflußt. Diese direkte Nervenverbindung vom Auge zur Hypophyse ist von Geiringer (14) an histologischen Serienschnitten nachgewiesen worden. In der Hypophyse kommt es dann zu einer vermehrten Produktion und Ausschüttung des M.H., das seinerseits wieder die Dunkelstellung der Pigmentschicht des Auges bewirkt. Auf Grund dieser Hypothese wurden nun Untersuchungen über die Wirkung von in den Bindehautsack des Auges eingeträufeltem M.H. angestellt. Jores und Velde (20) beobachteten eine Verkürzung der Adaptationszeit des menschlichen Auges. Dieses Ergebnis konnte jedoch von Buschke (5) nicht bestätigt werden. Jores erklärte dies damit, daß das von ihm Buschke zur Verfügung gestellte M.H. unwirksam war.

Abb. 6. D.A.-Kurve G. Mo. (gemeine Hypotonie
(A.H.-Spiegel im Blut: 0,63 M.H.-Einheiten)

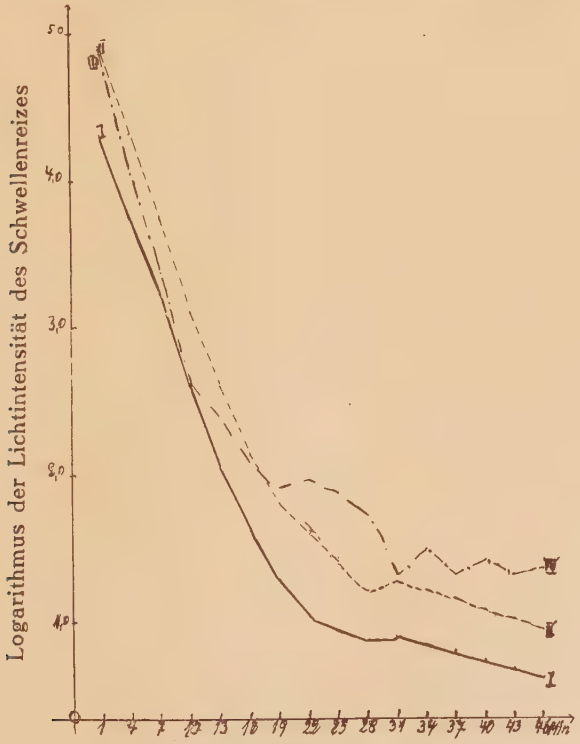
Zeit der Dunkeladaptation in Minuten

Jores arbeitete daraufhin ein neues Verfahren zur M.H.-Herstellung aus und konnte mit diesen neugewonnenen M.H.-Lösungen seine alten Ergebnisse reproduzieren. Sie werden außerdem in einer neueren Arbeit von Scardaccione (33) teilweise bestätigt. Dieser fand nach Einträuflung von M.H. in den Bindehautsack und auch nach subcutaner Injektion von M.H. nicht regelmäßig, aber doch bei manchen Personen eine Beschleunigung der D.A. und eine Besserung der Empfindlichkeit der Netzhaut des Auges beim Dunkelsehen. In Anwendung dieser Wirkung des M.H. fand Scardaccione außerdem bei leichten Fällen von Pigmentdegenerationen (Retinitis pigmentosa) eine allgemeine Besserung der DA.; bei weiter vor-

Abb. 7. D.A.-Kurve A. We.

(MH-Spiegel im Blut: 1,84 MH-Einheiten)

I ——— = Standardkurve (Mittelwert)
II ····· = Standardkurve (ob. Streugrenze) III .—.— = DA-Kurve A. We.



Zeit der Dunkeladaptation in Minuten

geschrittenen Fällen trat jedoch keine Wirkung des M.H mehr ein.

Der Kliniker hat an der weiteren Klärung dieser Zusammenhänge großes Interesse, denn es zeigen z. B. Vagotoniker und Sympathicotoniker Unterschiede im Melanophorenhormongehalt des Blutes. Eppinger und Hess stellten als erste die Begriffe der Vagotonie und Sympathicotonie auf. Da beide Formen bei ein und demselben Menschen meist nebeneinander bestehen, faßte v. Bergmann den Begriff weiter und sprach von „Vegetativer Stigmatisation". Da klinisch der Hypotonus als ein objektives Charakteristikum zusammen mit den Kennzeichen einer starken Abweichung im neuro-hormonalen Verhalten regel-

Tabelle 4

Zeit in Minuten	Standardkurve		Schwellenwerte des Pat. G. Mo.* in Mikrolux	Schwellenwerte des Pat. A. We.** in Mikrolux
	Mittelwerte in Mikrolux	Obere Streuungsgrenze in Mikrolux		
1	21 500	84 500	49 000	80 000
4	5 450	20 800	24 000	12 000
7	1 670	5 500	20 000	2 600
10	385	1 230	2 000	400
13	110	389	200	250
16	40	136	120	120
19	19	62,5	70	80
22	10,7	24,2	12,5	90
25	8,3	24,8	8,5	75
28	7,3	16,3	5,5	50
31	7,5	18,3	3,5	20
34	6,8	15,8	4,5	30
37	6	14,25	4	20
40	5,4	11,4	3,5	25
43	4,7	10,1	2,5	20
46	4	8,5	2	22,5

*) D.A.-Kurve des Patienten G. Mo. (absolute Werte). Klinisch: Genuine Hypotonie: R. R 100/80; Dermographismus +; Vasolabilität und Schweißerregung +; MH-Spiegel im Blut = 0,63 MH-Einheiten. Alter 20 Jahre.

**) D.A.-Kurve des Pat. A. We. (absolute Werte). Klinisch: R. R. 120/80; Dermographismus —; Vasolabilität und Schweißerregung —; MH-Spiegel im Blut = 1,84 MH-Einheiten. Alter 30 Jahre.

mäßig in Erscheinung tritt, bezeichnet Storz (37) denselben Konstitutionstyp als „genuine Hypotonie". Sein Erscheinungsbild ist gekennzeichnet durch affektbetonte Psyche, Vasolabilität mit spontanem und mechanischem Dermographismus, Labilität aller regulierten Funktionen, wie gesteigerte Schweißerregbarkeit usw. Objektiv ist die „genuine Hypotonie" gekennzeichnet durch den schon erwähnten Hypotonus, eine verlangsamte Blutkörperchen-Senkungsgeschwindigkeit, bedingt durch einen erniedrigten Globulin-Gehalt des Serums, eine Senkung der Blutzuckerkonzentration, eine Verringerung der zirkulierenden Blutmenge mit dem Zustandsbild der peripheren Kreislaufschwäche, Neigung zur Anämie und Leukopenie und mit gehemmter Mobilisierungsfähigkeit des myeloischen Systems und relativer Lymphocytose, ferner ein Gesamtbild, das charakterisiert ist durch einen Zustand vegetativer Schwäche mit leichter Ermüdbarkeit in physischer und psychischer Beziehung. Zusammen mit Storz (37) fand ich außerdem bei diesem Konstitutionstyp einen verminderten M.H.-Spiegel im Blut, der normalerweise 1,2 bis 1,3 M.H.-Einheiten beträgt.

Ich selbst habe auch bei einigen Personen mit „genuiner Hypotonie" die Dunkeladaption untersucht. Wenn auch die Zahl der von mir Untersuchten noch zu gering ist, um ein abschließendes Urteil bilden zu können, so zeigten doch die „genuinen Hypotoniker" nicht nur eine Verminderung des Melanophorenhormongehaltes im Blut, sondern auch Veränderungen ihrer Adaptationskurve. Bei Beginn der Dunkeladaptation wurden dabei die Schwellenwerte an der oberen Grenze der Norm und gegen Ende derselben ziemlich weit unter der oberen Grenze der Norm, ja unterhalb der Mittelwertskurve der Normalen gefunden. Abb. 6 und Tabelle 4 gibt eine der bei diesen Untersuchungen gefundenen Kurven wieder. Es ist möglich, daß zwischen der Verminderung des Melanophorengehaltes des Blutes und der Dunkeladaptation derartige Beziehungen bestehen. Auffallend war nämlich, daß andererseits Personen, die einen verhältnismäßig hohen M.H.-Blutspiegel aufwiesen und die auch klinisch keine Zeichen einer „genuinen Hypotonie" aufwiesen, eine Störung ihrer Dunkeladaptation, wie das Beispiel Abb. 7 und Tabelle 4 (Pat. A. We.) zeigen, zu haben scheinen. Aus diesen Kurven gewinnt

man den Eindruck, als ob eine Herabsetzung des Melanophorengehaltes im Blut zu einer Begünstigung der Dunkeladaptation beim Sehen mit dem Stäbchenapparat, und daß umgekehrt eine Erhöhung des Melanophorenspiegels im Blut zu einer Störung des Sehens mit dem Stäbchen Veranlassung gibt. Die Zahl meiner Versuche ist aber so klein, daß ich nur auf eine derartige Möglichkeit hinweisen kann.

Zusammenfassung.

Nach einem kurzen Ueberblick über einige neuere Erkenntnisse über die mit der Dunkelanpassung der Augen einhergehenden Vorgänge werden all die Umstände erörtert, die berücksichtigt werden müssen, wenn man die Prüfung der Dunkeladaptation auf eine einheitliche Grundlage bringen will und gleichzeitig die Untersuchung so zu gestalten versucht, daß geringe Abweichungen der Dunkeladaptationsfähigkeit möglichst gut erkannt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, muß eine sogenannte Standardkurve der Dunkeladaptation, d. h. eine Mittelwertskurve zahlreicher Normaler, deren obere Streuungsgrenze bekannt ist, als Maß dienen. Schon 1932 wurde eine derartige Kurve von G. Matthey aufgestellt. Es zeigte sich aber, daß diese für die Berliner Verhältnisse keine Gültigkeit hat und es wurde daher eine neue Standardkurve durch Untersuchung von 25 normalen Personen aufgestellt.

Im Vergleich zu der Matthey'schen Kurve liegen die Standardwerte der jetzt gefundenen Kurve um etwa das 2,1fache höher. Es ist möglich, daß dieser Unterschied auf die verschiedene Art der Ernährung der Versuchspersonen (Berlin und Basel) zurückzuführen ist.

Die Anwendung der neuen Standardkurve wird an einem Fall von Atherosklerose der Netzhautarterien mit Herabsetzung der Dunkeladaptationsfähigkeit gezeigt. Weiterhin wird noch kurz auf die mögliche Bedeutung des Melanophorenhormons für die Dunkeladaptation des Auges hingewiesen und einige Beispiele angeführt, die daran denken lassen, daß Vagotoniker, d. h. sogenannte „genuine Hypotoniker" nicht nur eine Verminderung des

Melanophorenhormonspiegels im Blute haben, sondern daß auch ihr Stäbchenapparat leistungsfähiger ist als es der Norm entspricht. Andererseits besteht die Möglichkeit, daß Personen mit erhöhtem Melanophorenhormongehalt im Blute geringe Störungen der Dunkeladaptation im Bereiche der Stäbchenapparates besitzen.

Ich möchte an dieser Stelle allen meinen akademischen Lehrern für ihre Mühen um meine Ausbildung danken, insbesondere Herrn Prof. Dr. Bertram in Hamburg, bei dem ich vier Monate als Famulus tätig war. Ganz besonders danke ich Herrn Prof. Dr. Müller, Oberarzt an der Universitäts-Augenklinik, Berlin, für die Ueberlassung des Themas und für die Ratschläge, die er mir beim Anfertigen der Arbeit gab.

Schrifttum.

1. Best, F.: Graefe Arch. **76,** 146 (1910).
2. Boll, G.: Ber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. 783 (1876).
3. Brummer, O. u. W. Kleinau: Akad. d. Wiss. Wien **145b,** 464 (1936).
4. Bunge, E.: Arch. Augenheilk. **110,** 189 (1936).
5. Buschke, W.: Klin. Wschr. **13,** 1785 (1934).
6. Chase, A.: Science (N. Y.) **1,** 238 (1938).
7. Chase, A.: J. gen. Physiol. **19,** 577 (1936).
8. Drescher, K. u. W. Trendelenburg: Zeitschr. f. Biol. **84,** 427 (1926).
9. Edmund, C. u. S. Clemessen: Ueber Vitamin A-Mangel und Adaptationsstörung, London, Humphrey. Milford 1937.
10. Engelking.
11. Fischer, F. P. u. J. Jongbloed: Arch. Augenheilk. **109, 452** (1935).
12. Fridericia, L. S. u. Holm, E.: Amer. J. Physiol. **73,** 63 (1925).
13. Garten, S., Graefe-Saemisch: Handb. d. Ges. Augenheilk., 2. Auflage **3,** Kap. XII u. Graefe Arch. **63,** 112 (1906).
14. Geiringen: Anat. Anz. **86,** 202 (1938).
15. Hecht, S.: Physiologic. Rev. **17,** 239 (1937).
16. Hertel, E.: Concilium ophthalmol. XIII, Hollandia 1929, N. V. Boek Leiden.
17. Holm, E.: Amer. J. Physiol, **73,** 79 (1925).
17a) Jegheres, H.: Ann. int. Med. **10,** 1304 (1937), New. intern. Clin. **1,** 17 (1938).
18. Jores, A.: Z. exp. Med. **87,** 266 (1933).
19. Jores, A.: Klin. Wschr. 1933, 1539, 1599.
20. Jores, A. u. Velde: Verh. dtsch. Ges. inn. Med. **45,** 116 (1933).
21. Kohlrausch, A.: Handb. nom. u. pathol. Physiol. XII/2, 1499 (1931).
22. v. Kries, J.: Nagels Handb. d. Phyiol. **3,** 168 (1904).
23. Kühne, W.: L. Herrmanns Handb. d. Physiol. Leipzig 1879, **3,** 325.
24. Kyrieleis W.: Graefe Arch. **138,** 564 (1938).
25. Lythgoe, R. J.: J. f. Physiol. **89,** 331 (1937).
26. Lohmann, W.: Graefe Arch. **65,** 365 (1907).
27. Matthey, G.: Graefe Arch. **129,** 275 (1932).
28. Müller, H. K.: Graefe Arch. **125,** 624 (1931).
29. Müller, H. K.: Graefe Arch. **125,** 614 (1931).
30. Nagel, W. A.: Handb. d. Physiol. Optik v. Helmholtz, 271 (1911).
31. Nagel, W. A.: Z. Augenheilk. **17,** 201 (1907).
32. Piper, H.: Z. Physiol. **31,** 161 (1903).
33. Piper, H.: Klin. Mbl. Augenheilk. 45, 357 **(1907).**
34. Roth: Tbl. allg. Path. u. path. Physiol. **54,** 234 (1932).

35. Scardaccione: Bull. ocul. **17**, 755 (1938).
36. Stargardt, R.: Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 593 (1927).
37. Storz H.: Klin. Wschr. 18, 1519 (1939).
38. v. Studenitz, G.: Pflügers Arch. **238**, 802 (1937).
39. v. Studenitz, G.: Zool. Anz. Suppl. Bd., **10**, 257 (1937).
40. v. Studenitz, G.: Pflügers Arch. **239**, 515 (1938).
41. v. Tschermak, A.: Erg. Physiol. 1/I, 695 (1902).
42. Wald, G.: Nature (Sond.) 1937 II, 545.
43. Wald, G.: J. gen. Physiol. **18**, 905 (1925).
44. Wald, G.: J. gen. Physiol. **19**, 351 (1935).
45. Wald, G. u. A. B. Clark: J. gen. Physiol. 21, 93 (1937).
46. Wald, G. u. H. Zussmann: J. of. biol. Chem. **122**, 449 (1938).

Lebenslauf.

Ich, Hans-Jürgen Otto Ferdinand Schultz, bin am 26. Juli 1915 in Stettin als Sohn des damaligen Regierungsassessors und jetzigen Abteilungspräsidenten der Deutschen Reichsbahn Dr. jur. Johannes Schultz und seiner Ehefrau Marie Schultz, geb. Brandenburg, geboren. Ich bin evangelischer Konfession und arischer Abstammung.

Meine Schulzeit verbrachte ich in Berlin und bestand am 5. März 1934 am Schiller-Real-Gymnasium in Berlin-Charlottenburg die Reifeprüfung. Nach Ableistung des freiwilligen Arbeitsdienstes in Döberitz und Nauen bei Berlin, trat ich am 1. 11. 34 als Freiwilliger beim Pionier-Btl. Neisse (O.-S.) ein und schied dort am 12. 10. 35 als Gefreiter aus. Nach meinem Wehrdienst begann ich im Winter-Semester 1935/36 mein medizinisches Studium an der Universität Breslau und bestand dort am 10. Februar 1938 die ärztliche Vorprüfung. Seit dem Sommer-Semester 1938 studierte ich an der Universität Berlin, wo ich am 9. Mai 1940 mein Staatsexamen vor dem Prüfungsausschuß Berlin ablegte.

Seit dem 13. März 1940 stehe ich als Freiwilliger in der SS-Verfügungstruppe und bin jetzt als SS-Untersturmführer und Hilfsarzt beim I./SS-Rgt. „Nordland" tätig.